

DAS HERZFREQUENZ- UND
BLUTDRUCKVERHALTEN IN RUHE
UND WÄHREND ORTHOSTATISCHER
UND DYNAMISCHER BELASTUNG
IN 1,0 BAR ÜBERDRUCK

Juan Miguel Reyes-Amézcua

Duss
München
1984



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554007_0115

Aus dem Institut und der Poliklinik für Arbeitsmedizin
der Universität München

Vorstand: Prof.Dr.med.G.Fruhmann

DAS HERZFREQUENZ- UND BLUTDRUCKVERHALTEN IN RUHE
UND WÄHREND ORTHOSTATISCHER UND DYNAMISCHER BELASTUNG IN 1,0 BAR
ÜBERDRUCK

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von
Juan Miguel Reyes-Amézcu
aus
Morelia, Mexiko

1984

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter : Prof. Dr. G. Fruhmann

Dekan : Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung : 02.08.1984

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Methodik	2
3. Ergebnisse	6
3.1 Kompressions- und Dekompressionsphase	6
3.2 Liegephase und orthostatische Belastung	11
3.3 Dynamische Belastung	17
3.4 Der Einfluß der Reihenfolge der Versuchsdurchführung auf die Ergebnisse der Herz-Kreislauf-Funktionsprüfungen	21
4. Diskussion	30
5. Zusammenfassung	38

Literaturverzeichnis

Lebenslauf

1. Einleitung

Aufgrund zahlreicher, zumeist älterer Studien über den Einfluß von Überdruck auf das Herz-Kreislauf-System wird derzeit überwiegend die Meinung vertreten, daß Druckluft die Herzfrequenz senkt (2,4,18,23,27,41,44,46,49,55,60,67,72). Die Mehrzahl der Autoren macht den in Druckluft erhöhten inspiratorischen Sauerstoffpartialdruck dafür verantwortlich. Demgegenüber steht die physiologische Erkenntnis, daß entsprechend der Sauerstoffbindungskurve eine Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks zu keiner weiteren wesentlichen Sättigung des Hämoglobins führt, die nennenswerte Herzfrequenzänderungen zur Folge haben könnte.

In einer neueren Untersuchung an 24 Bauarbeitern über die kardiozirkulatorische Beanspruchung durch den Untertagevortrieb in Druckluft, die mit Hilfe von Bandspeicher-EKG-Aufzeichnungen durchgeführt wurde, fiel auf, daß zumindest während der Kompressionsphase von normaler Atmosphäre auf 0,7 bar Überdruck und auch der Dekompressionsphase keine Herzfrequenzänderungen zu beobachten waren, die in Zusammenhang mit den Druckänderungen stehen könnten (38). Sowohl der Druckanstieg als auch die Druckabnahme führten zu einer anfänglichen Herzfrequenzsenkung. Wäre der zunehmende Überdruck während der Kompressionsphase die Ursache für eine Herzfrequenzabnahme, dann könnte umgekehrt der Druckabfall während der anschließenden Dekompressionsphase zu einem Herzfrequenzanstieg führen.

In einem standardisierten Versuchsprogramm mit Ruhephasen im Liegen, einer orthostatischen und dynamischen Belastung sowohl in normaler Atmosphäre als auch in 1,0 bar Überdruck sollte jetzt dieser Widerspruch zur derzeit geltenden Meinung hinsichtlich des Herzfrequenzverhaltens geklärt werden.

2. Methodik

Untersucht wurden 24 klinisch gesunde Probanden im Durchschnittsalter von 32 Jahren, davon 12 Bauarbeiter einer Druckluftbaustelle und 12 Studenten ohne Druckluft Erfahrung (Tab.1).

	Druckluft	
	-Erfahrene	-Unerfahrene
Anzahl	12	12
Alter (J.)	33,6 $\pm$ 9,4	29,3 $\pm$ 5,1
Größe (cm)	176,3 $\pm$ 3,6	176,7 $\pm$ 4,7
Gewicht (kg)	76,4 $\pm$ 8,5	72,0 $\pm$ 9,9

Tabelle 1: Untersuchte Probanden

Bei diesen Personen wurde mit Hilfe der Bandspeicher-technik (Camscan 2-Kanal-System, Fa.American Optical) das Elektrokardiogramm kontinuierlich vor, während und nach einem standardisierten Untersuchungsprogramm in normaler Atmosphäre und in 1,0 bar Überdruck aufgezeichnet. Das Versuchsprogramm bestand aus einer 10minütigen Ruhephase im Liegen, einer daran anschließenden und jeweils 5 Minuten dauernden Stehbelastung, einer erneuten Liegephase und schließlich einer Kletterstufenbelastung von wiederum 5 Minuten Dauer. Zusätzlich wurde der Blutdruck nach der Riva-Rocci-Methode vor und nach den Liegephasen sowie vor und unmittelbar nach der dynamischen Belastung gemessen, während der Stehbelastung in Minutenabständen.

Als Druckkammer diente eine Krankenschleuse (Abb.1, 2,3). Um mögliche Einflüsse durch die psychische Beanspruchung (Enge der Krankenschleuse, Lärmentwicklung,

Temperaturanstieg) erfassen und beurteilen zu können, wurde die Versuchsreihenfolge immer wieder geändert: jeweils die Hälfte der Probanden mit und ohne Drucklufterfahrung mußte mit dem Kontrollversuch beginnen, der andere Teil mit dem Hauptversuch.

Die Druckänderungsgeschwindigkeit während der Kompressions- und Dekompressionsphase wurde mit 0,05 bar pro Minute immer konstant gehalten, um einzelne Herzfrequenzwerte bestimmten Druckbereichen zuordnen zu können. Dabei mußten die Probanden sitzen.

Da während der Kompressionsphase wegen der Luftverdichtung trotz Luftspülung der Druckkammer mit einer Erwärmung zu rechnen war, wurden zusätzlich die Raumlufttemperaturen in normaler Atmosphäre und während der Isopressionsphase in 1,0 bar Überdruck gemessen.

Wegen der räumlichen Enge in der Krankenschleuse erfolgte die dynamische Belastung als Stufentest in Anlehnung an die Kletterstufe nach KALTENBACH (36). Die gewählte Stufenhöhe (40 cm) und die Steigfrequenz, die durch ein Metronom mit einem Takt von 70/min vorgegeben wurde, führte unter Berücksichtigung des Körpergewichts der Probanden zu einer durchschnittlich erbrachten Leistung von 120 Watt.

Die statistische Absicherung der Ergebnisse erfolgte durch den t-Test nach STUDENT.

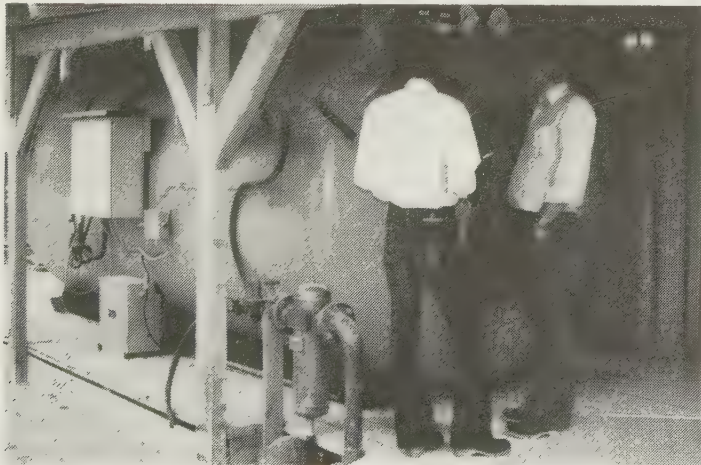


Abb.1: Blick auf die Druckkammer (Krankenschleuse)

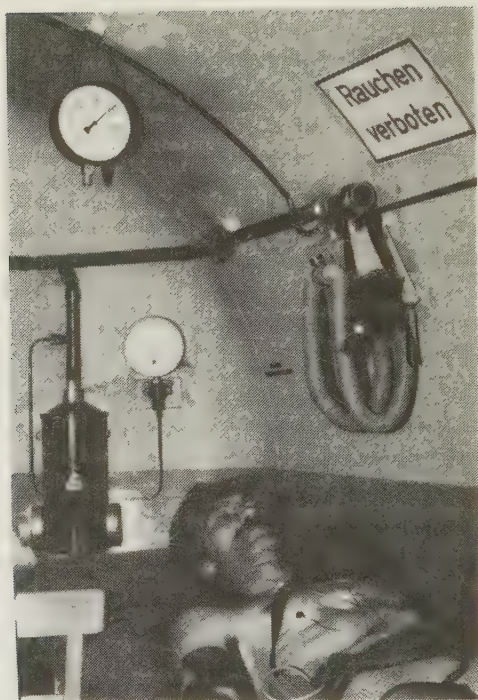


Abb.2: Blick in die Druckkammer; Proband während der Liegephase in 1,0 bar Überdruck

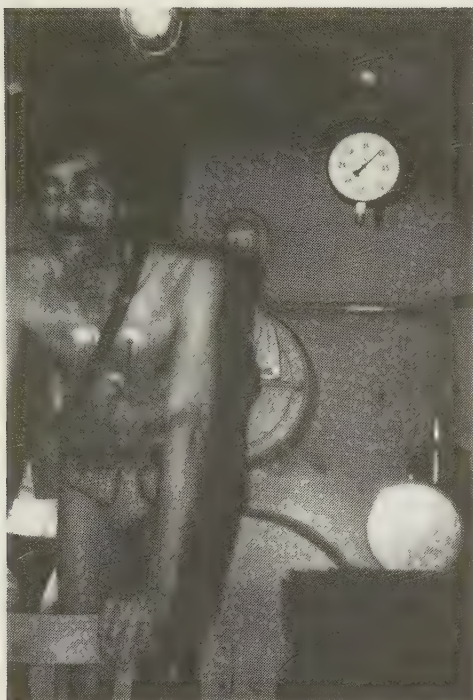


Abb.3: Blick in die Druckkammer; Proband während der dynamischen Belastung in 1,0 bar Überdruck.

3. Ergebnisse

3.1 Kompressions- und Dekompressionsphase

Während der Kompressionsphase auf 1,0 bar Überdruck mit einer Druckänderungsgeschwindigkeit von 0,05 bar/min. kommt es bei allen 24 Probanden zu einer nahezu kontinuierlichen Herzfrequenzabnahme von durchschnittlich 92/min bei normaler Atmosphäre auf 85/min bei 1,0 bar Überdruck (Abb. 4).

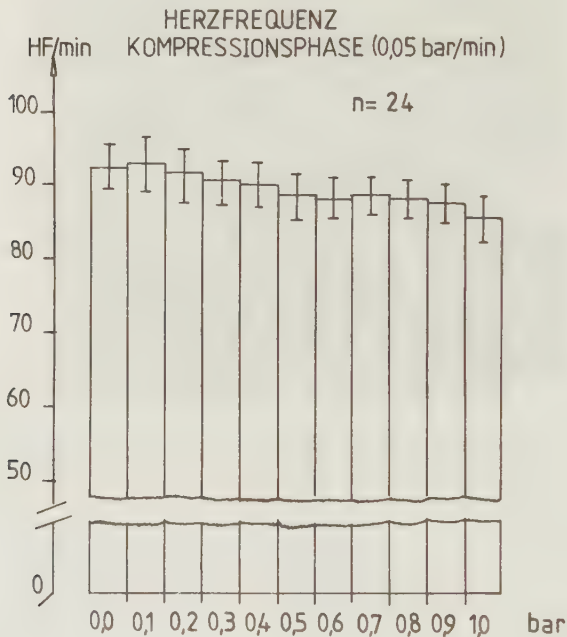


Abb. 4: Das Herzfrequenzverhalten von 24 Probanden während der Kompressionsphase von normaler Atmosphäre auf 1,0 bar Überdruck.

Während der Dekompressionsphase fällt die Herzfrequenz aller 24 Probanden ebenfalls nahezu kontinuierlich von 89/min (1,0 bar Überdruck) auf 84/min (0,2 bar Überdruck),

steigt jedoch vor Erreichen der normalen Atmosphäre wieder geringgradig an (Abb.5).

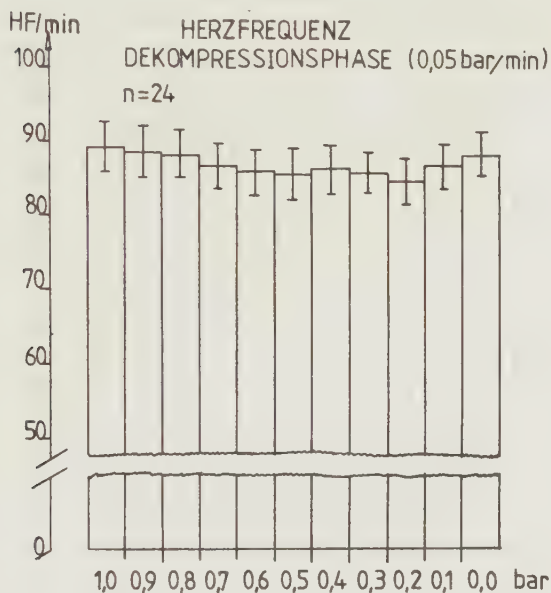


Abb.5: Das Herzfrequenzverhalten von 24 Probanden während der Dekompressionsphase von 1,0 bar Überdruck auf normale Atmosphäre.

Wird das Herzfrequenzverhalten während der Kompressionsphase in Abhängigkeit von der Drucklufterfahrung der Probanden gesondert betrachtet, so zeigt sich, daß in beiden Gruppen die Herzfrequenz wiederum nahezu kontinuierlich abnimmt. Die Mittelwerte der drucklufterfahrenen Bauarbeiter (Abb.6) liegen jedoch insgesamt geringgradig höher als die der druckluftunerfahrenen Studenten (Abb.7), der Abfall der Herzfrequenz der Studenten ist jedoch tendenziell stärker ausgeprägt.

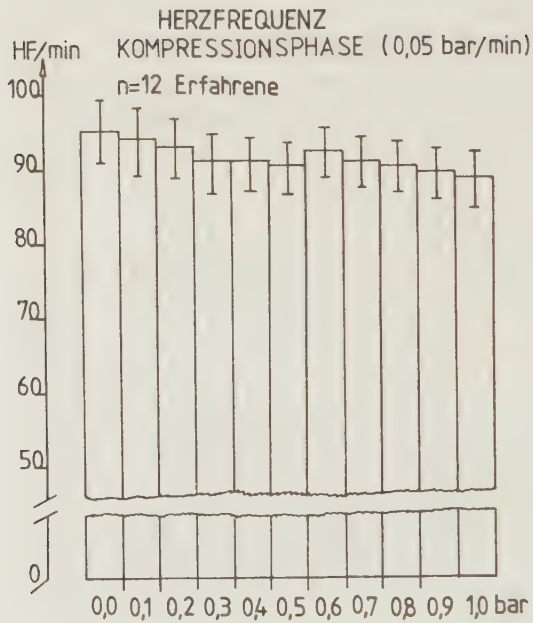


Abb.6: Das Herzfrequenzverhalten während der Kompressionsphase von 12 drucklutterfahrenen Bauarbeitern

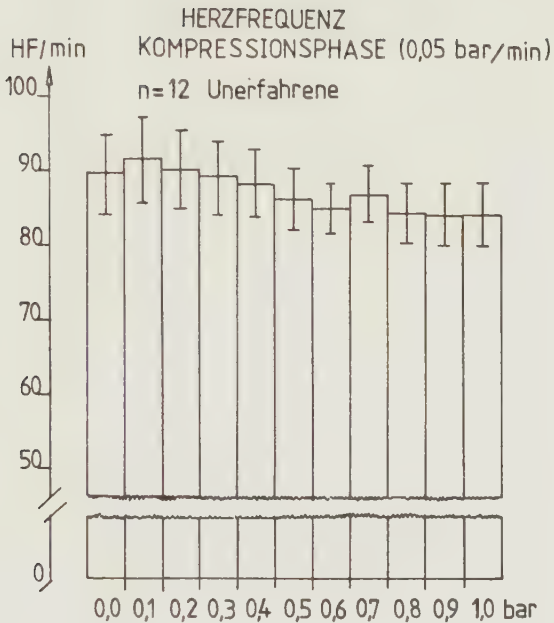


Abb.7: Das Herzfrequenzverhalten von 12 druckluftun-
erfahrenen Studenten während der Kompressions-
phase.

Die Dekompressionsphase bei den drucklutterfahrenen Bauarbeitern führt zunächst bis 0,2 bar Überdruck zu einer nahezu kontinuierlichen Herzfrequenzabnahme von durchschnittlich 96/min auf 88/min, bis zum Erreichen des atmosphärischen Druckes steigt diese wiederum geringgradig an (Abb.8). Während der Dekompressionsphase der druckluftunerfahrenen Studenten bleibt die Herzfrequenz vom Beginn bis zum Ende annähernd konstant (Abb.9).

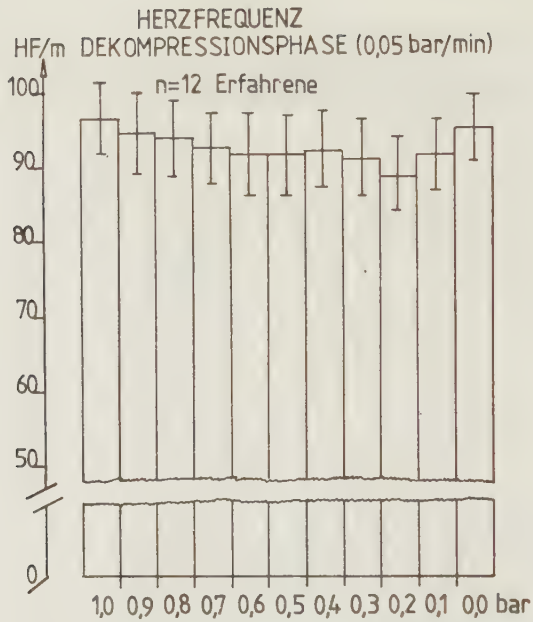


Abb.8: Das Herzfrequenzverhalten von 12 drucklufterfahrenen Bauarbeitern während der Dekompressionsphase

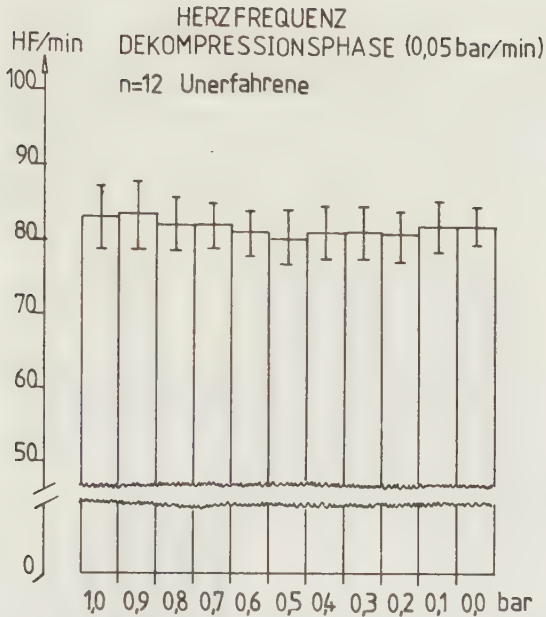


Abb.9: Das Herzfrequenzverhalten von 12 druckluftun-
fahrenen Studenten während der Dekompressions-
phase.

3.2 Liegephase und orthostatische Belastung

Während der 10 Minuten dauernden Liegephase sind die Mittelwerte der Herzfrequenz aller 24 Probanden in normaler Atmosphäre wie auch in 1,0 bar Überdruck nahezu gleich (Abb.10). Es kommt zunächst zu einer geringen Abnahme bis zur 2.Minute und in der 10.Minute wieder zu einem geringen Anstieg. Während der Stehphase in 1,0 bar Überdruck liegt die Herzfrequenz sogar tendenziell höher als in normaler Atmosphäre, jedoch läßt dieser Unterschied

sich nicht statistisch sichern. Der Blutdruck war während der Liege- und Stehphase tendenziell niedriger (kein statistisch signifikanter Unterschied) (Abb.11). Zu berücksichtigen ist hierbei, daß in 1,0 bar Überdruck die Raumlufttemperatur mit 29°C um durchschnittlich 3°C höher war als in normaler Atmosphäre.

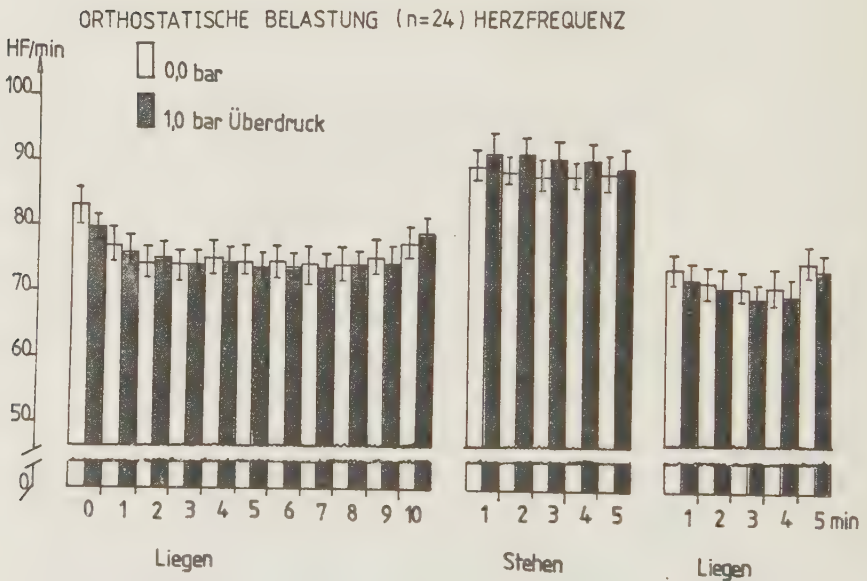


Abb.10: Das Herzfrequenzverhalten von 24 Probanden während einer Liege- und Stehphase in normaler Atmosphäre und 1,0 bar Überdruck.

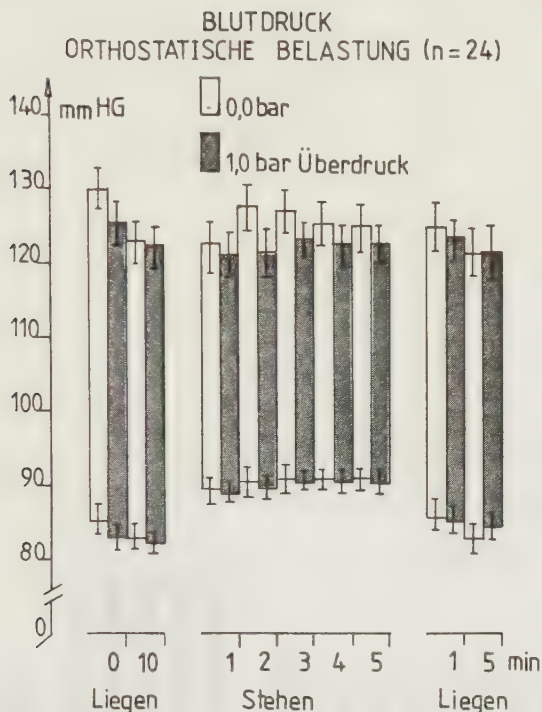


Abb.11: Das Blutdruckverhalten vor, während und nach orthostatischer Belastung von 24 Probanden in normaler Atmosphäre und 1,0 bar Überdruck.

Die Mittelwerte der Herzfrequenz der druckluftun-
fahrenen Studenten sind wiederum während der Liege- und
Stehphase in normaler Atmosphäre und 1,0 bar Überdruck
nahezu gleich (kein signifikanter Unterschied) (Abb.12).
Die Blutdruckwerte unterscheiden sich während der Lie-
gephase nicht, insbesondere zu Beginn der orthostati-
schen Belastung jedoch liegt der systolische Blutdruck
in 1,0 bar Überdruck tendenziell niedriger als in norma-

ler Atmosphäre (Abb.13).

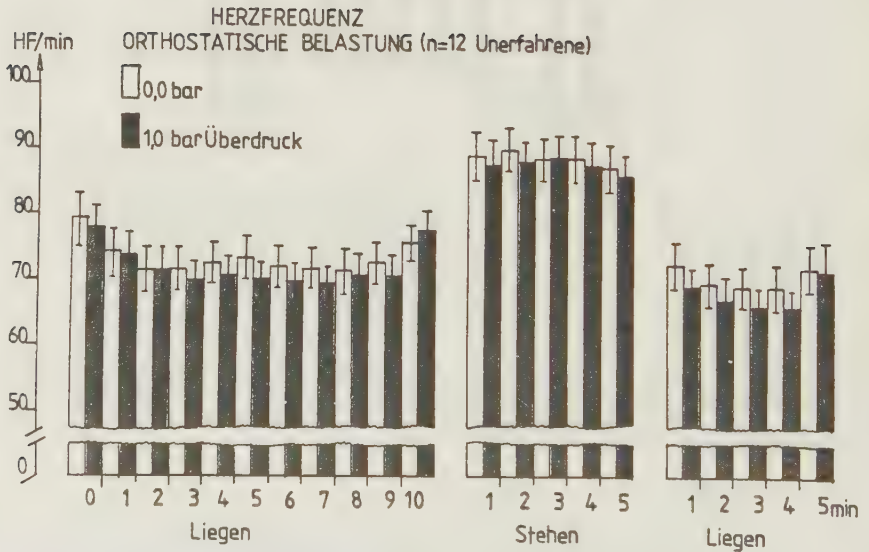


Abb.12: Das Herzfrequenzverhalten von 12 druckluftunerfahrenen Probanden vor und während orthostatischer Belastung in normaler Atmosphäre und 1,0 bar Überdruck.

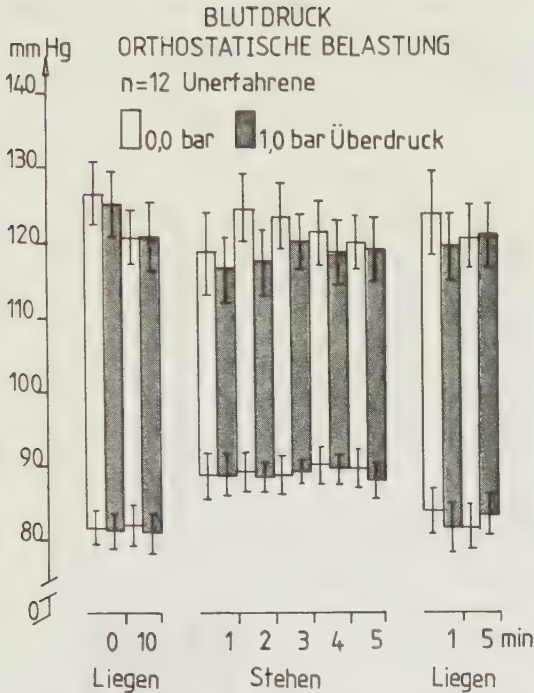


Abb.13: Das Blutdruckverhalten von 12 durchluftunerfahrenen Probanden vor und während orthostatischer Belastung in normaler Atmosphäre und 1,0 bar Überdruck.

Dagegen steigt die Herzfrequenz der drucklufturnerfahrenen Bauarbeiter während der Stehphase in 1,0 bar Überdruck tendenziell stärker an als in normaler Atmosphäre (kein statistisch signifikanter Unterschied) (Abb.14). Der systolische und diastolische Blutdruck liegen in dieser Gruppe während der Stehbelastung in 1,0 bar Über-

druck ebenfalls tendenziell tiefer als in normaler Atmosphäre (Abb.15). Die Temperatur bei diesem Versuch lag um durchschnittlich 2,1°C höher als bei den druckluftunerfahrenen Studenten.

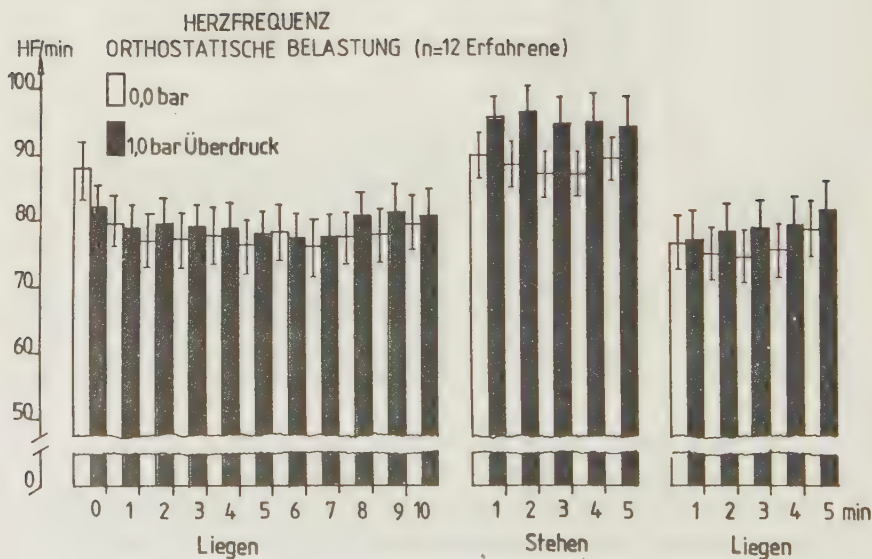


Abb.14: Das Herzfrequenzverhalten vor und während orthostatischer Belastung von 12 druckluft-erfahrenen Bauarbeitern in normaler Atmosphäre und 1,0 bar Überdruck.

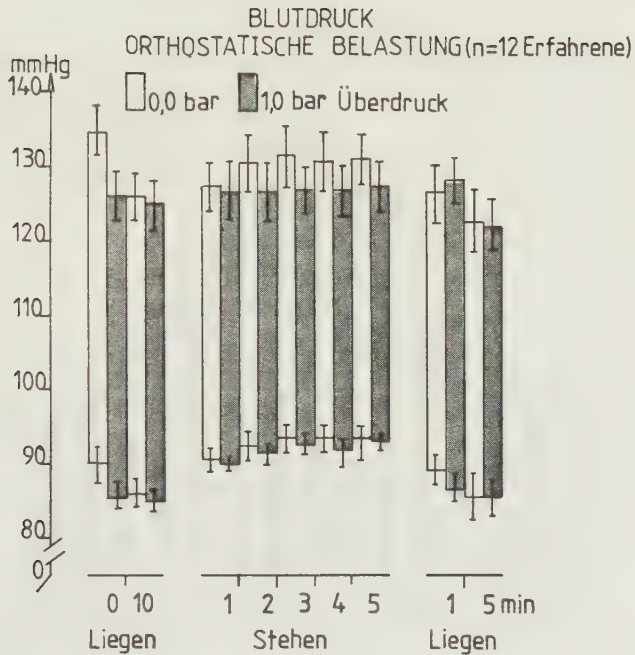


Abb.15: Das Blutdruckverhalten vor und während ortho-
statischer Belastung von 12 drucklufterfahrenen
Bauarbeitern in normaler Atmosphäre und 1,0 bar
Überdruck

3.3 Dynamische Belastung

Während der dynamischen Belastung mit durchschnittlich 120 Watt sprachen die Mittelwerte der Herzfrequenz aller 24 untersuchten Probanden weder vor noch während der Belastung für ein unterschiedliches Verhalten in normaler Atmosphäre oder 1,0 bar Überdruck (Abb.16). Auch die unmittelbar vor und nach der Belastung gemessenen Blutdruckwerte waren nahezu gleich.

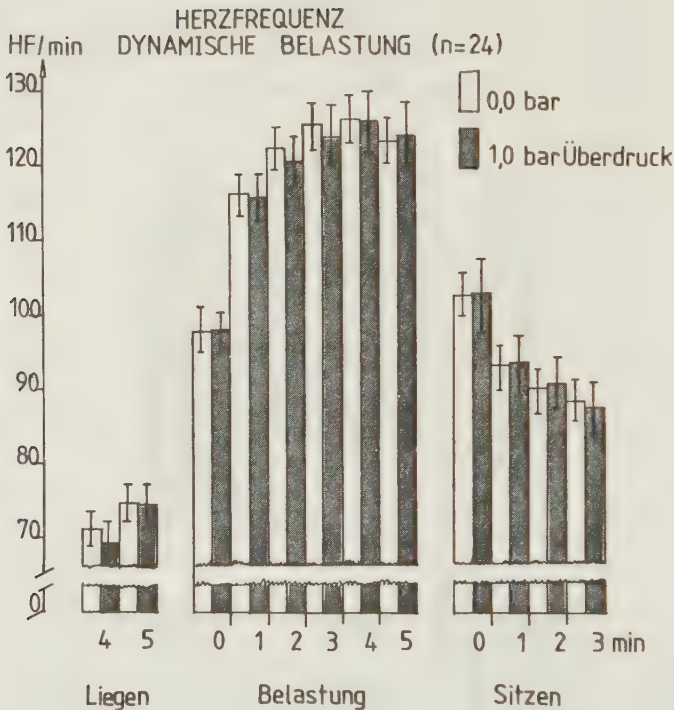


Abb.16: Das Herzfrequenzverhalten vor, während und nach dynamischer Belastung (120 Watt) von 24 Probanden in normaler Atmosphäre und 1,0 bar Überdruck.

Das Herzfrequenz- und Blutdruckverhalten während der dynamischen Belastung in normaler Atmosphäre und 1,0 bar Überdruck ergibt in Abhängigkeit von der Drucklufferfahrung ebenfalls keine nennenswerten Unterschiede (Abb.17 u.18). Die Erholungsphase der drucklufferfahrenen Bauarbeiter erfolgt jedoch tendenziell langsamer.

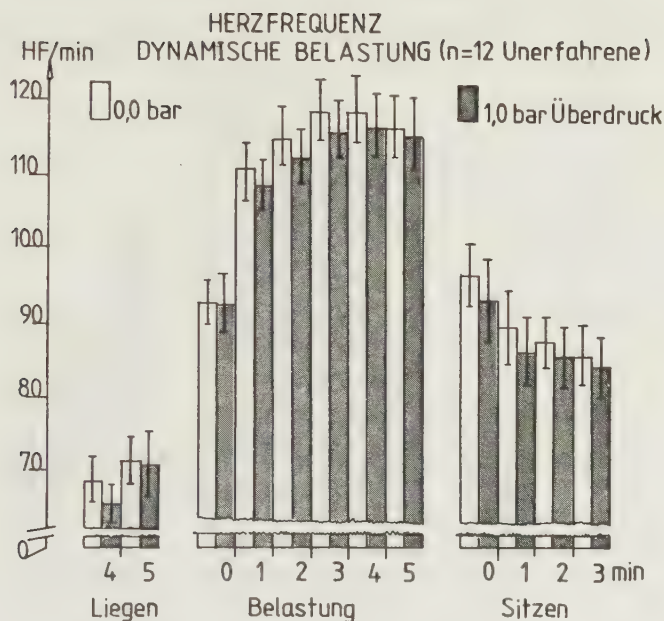


Abb.17: Das Herzfrequenzverhalten von 12 druckluft-
unerfahrenen Studenten vor, während und nach
dynamischer Belastung (120 Watt) in normaler
Atmosphäre und 1,0 bar Überdruck.

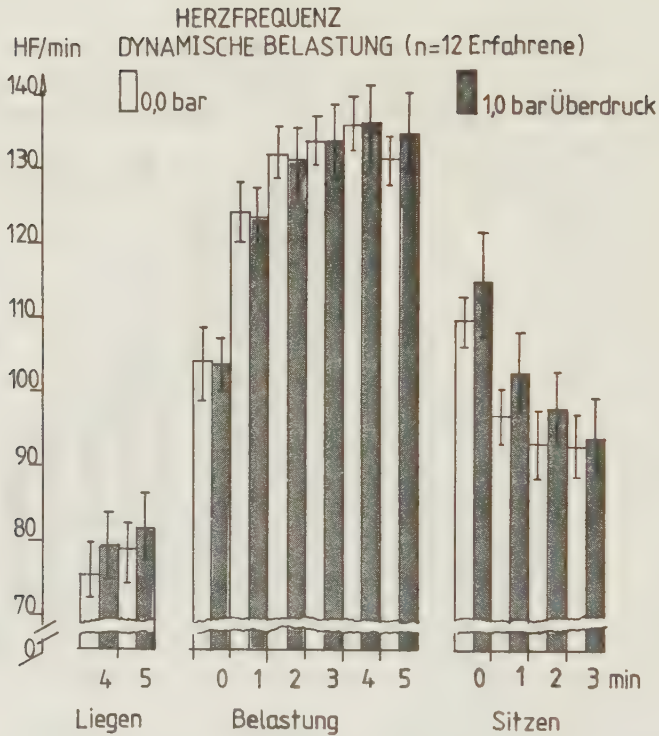


Abb.18: Das Herzfrequenzverhalten von 12 druckluft-
erfahrenen Bauarbeitern vor, während und
nach dynamischer Belastung (120 Watt) in
normaler Atmosphäre und 1,0 bar Überdruck.

3.4 Der Einfluß der Reihenfolge der Versuchsdurchführung auf die Ergebnisse der Herz-Kreislauf-Funktionsprüfungen.

Die Reihenfolge der Versuchsdurchführung beeinflusst das Verhalten von Herzfrequenz und Blutdruck während der Kompressions- und Dekompressionsphase und ebenso während der Kreislauf-Funktionsprüfungen.

Wird zuerst der Hauptversuch in 1,0 bar Überdruck und anschließend der Kontrollversuch in normaler Atmosphäre durchgeführt, dann fällt die Herzfrequenz während der Kompressionsphase von durchschnittlich 92/min auf 82/min (Abb.19). Folgt der Hauptversuch nach dem Kontrollversuch, dann kommt es ebenfalls zu einer Herzfrequenzabnahme während der Kompressionsphase, die jedoch weniger stark ausgeprägt ist (Abb.20).

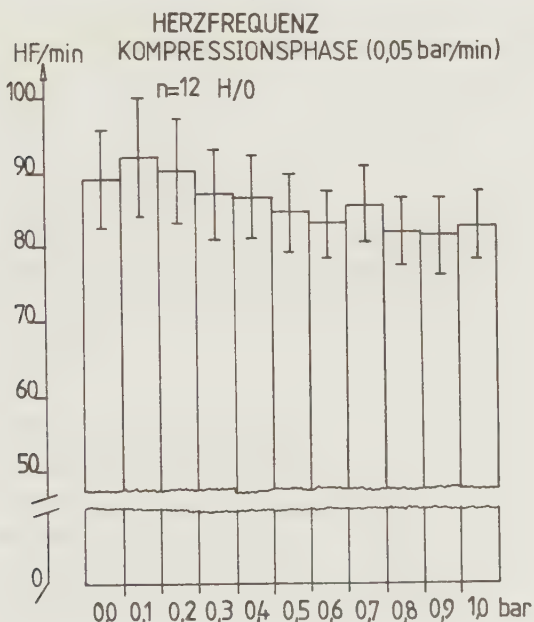


Abb.19: Das Herzfrequenzverhalten während der Kompressionsphase in Abhängigkeit von der Reihenfolge der Versuchsdurchführung: zuerst Hauptversuch in 1,0 bar Überdruck, dann Kontrollversuch in normaler Atmosphäre. (H/O = Haupt-/Null-Versuch)

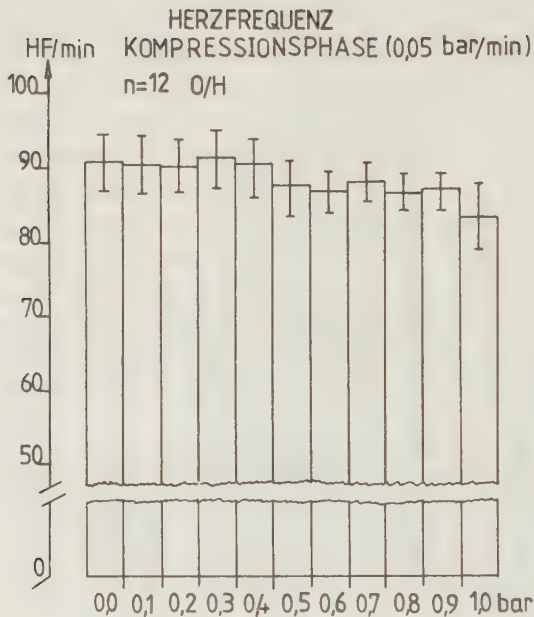


Abb.20: Das Herzfrequenzverhalten während der Kompressionsphase in Abhängigkeit von der Reihenfolge der Versuchsdurchführung: zuerst Kontrollversuch in normaler Atmosphäre, dann Hauptversuch in 1,0 bar Überdruck.

Während der Dekompressionsphase fällt die Herzfrequenz um 3/min ab, wenn das Versuchsprogramm zuerst in 1,0 bar Überdruck durchgeführt wird (Abb.21). Wird zuerst mit dem Kontrollversuch in normaler Atmosphäre begonnen, dann bleibt die Herzfrequenz während der Dekompressionsphase nahezu konstant (Abb.22).

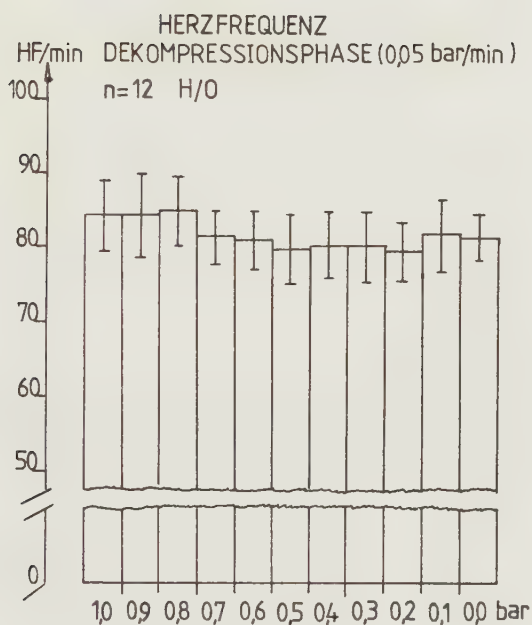


Abb.21: Das Herzfrequenzverhalten während der Dekompressionsphase in Abhängigkeit von der Versuchsreihenfolge: zuerst Hauptversuch in 1,0 bar Überdruck, dann Kontrollversuch in normaler Atmosphäre

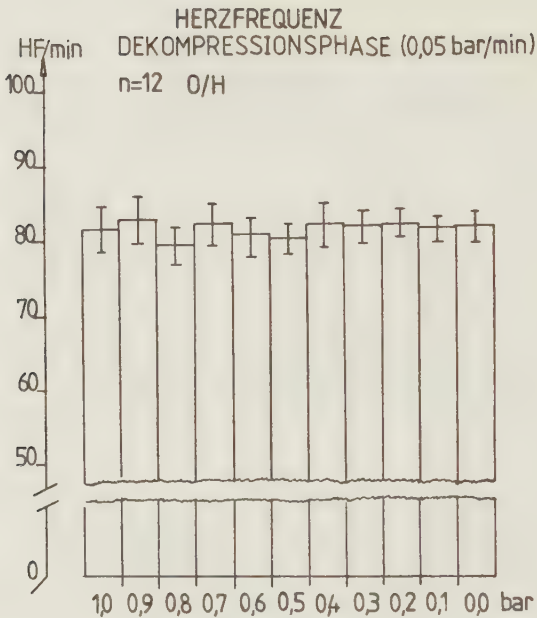


Abb.22: Das Herzfrequenzverhalten während der Dekompressionsphase in Abhängigkeit von der Reihenfolge der Versuchsdurchführung: zuerst Kontrollversuch in normaler Atmosphäre, dann Hauptversuch in 1,0 bar Überdruck.

Wird das Versuchsprogramm zuerst in normaler Atmosphäre und dann in 1,0 bar Überdruck durchgeführt, kommt es während der Liegephase vor und nach orthostatischer Belastung zu einer tendenziellen Herzfrequenzabnahme in 1,0 bar Überdruck und einer geringgradigen Herzfrequenzzunahme während der 5 Minuten dauernden Stehphase (Abb.23). Wird zuerst mit dem Hauptversuch in 1,0 bar Überdruck begonnen, dann unterscheiden sich die Herzfrequenzwerte während der Liegephasen nicht, während der Stehphase

ergibt sich eine tendenzielle Herzfrequenzabnahme in 1,0 bar Überdruck (Abb.24).

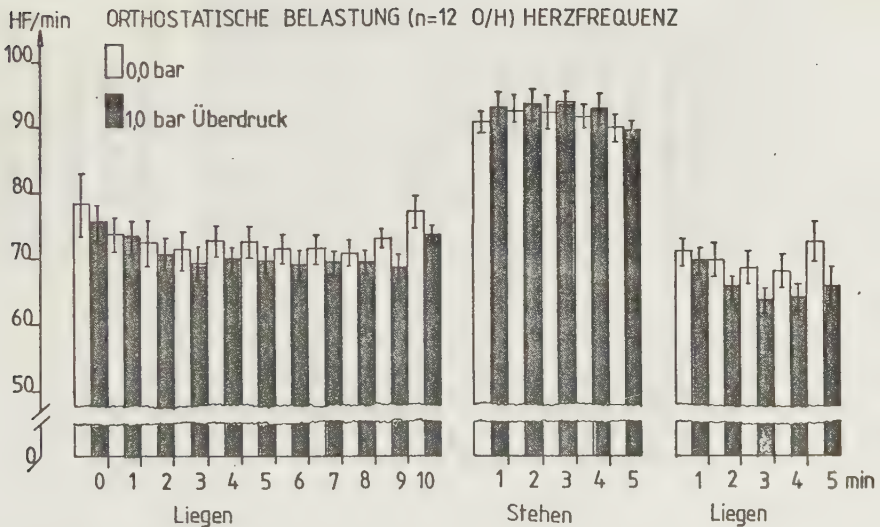


Abb.23: Das Herzfrequenzverhalten vor, während und nach orthostatischer Belastung in Abhängigkeit von der Reihenfolge der Versuchsdurchführung: zuerst Kontrollversuch in normaler Atmosphäre, dann Hauptversuch in 1,0 bar Überdruck

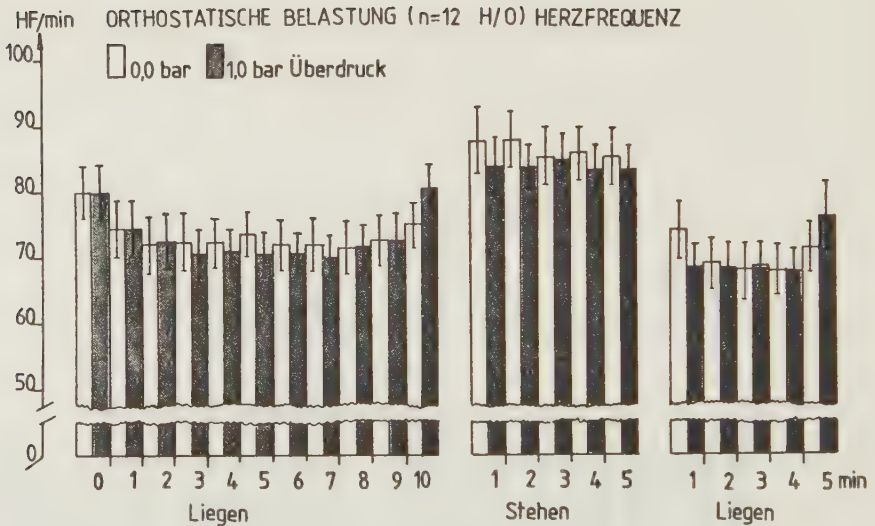


Abb.24: Das Herzfrequenzverhalten vor, während und nach orthostatischer Belastung in Abhängigkeit von der Reihenfolge der Versuchsdurchführung: zuerst Hauptversuch in 1,0 bar Überdruck, dann Kontrollversuch in normaler Atmosphäre

Der systolische Blutdruck zeigt während der Stehbelastung die Tendenz einer Abnahme in 1,0 bar Überdruck, wenn zuerst mit dem Kontrollversuch in normaler Atmosphäre begonnen wird und der Hauptversuch in 1,0 bar Überdruck anschließend durchgeführt wird (Abb.25).

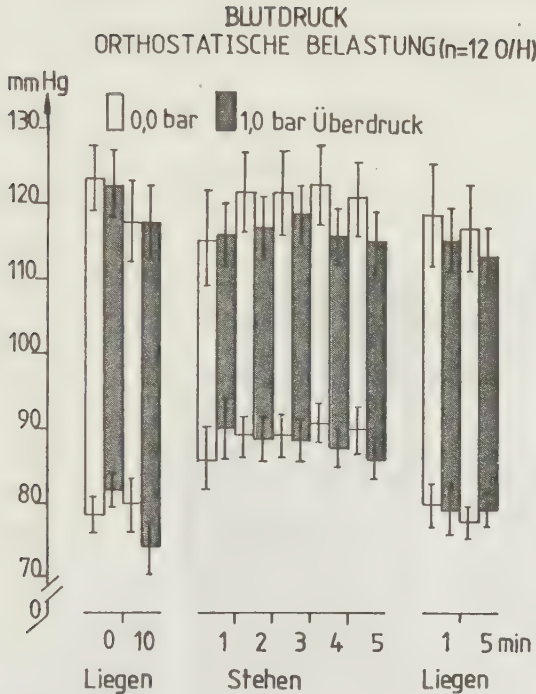


Abb.25: Das Blutdruckverhalten vor, während und nach orthostatischer Belastung in normaler Atmosphäre und 1,0 bar Überdruck in Abhängigkeit von der Reihenfolge der Versuchsdurchführung: zuerst Kontrollversuch und dann Hauptversuch in 1,0 bar Überdruck.

Wird die dynamische Belastung (Stufenbelastung 120 Watt) zuerst in normaler Atmosphäre und anschließend in 1,0 bar Überdruck durchgeführt, dann liegen die Herzfrequenzwerte sowohl vor als auch während und nach der Belastung in 1,0 bar Überdruck tendenziell tiefer (Abb.26). Wird die Belastung zuerst in 1,0 bar Überdruck und anschließend in normaler Atmosphäre kontrolliert, dann ergeben sich

keine nennenswerten Unterschiede im Herzfrequenzverhalten (Abb.27).

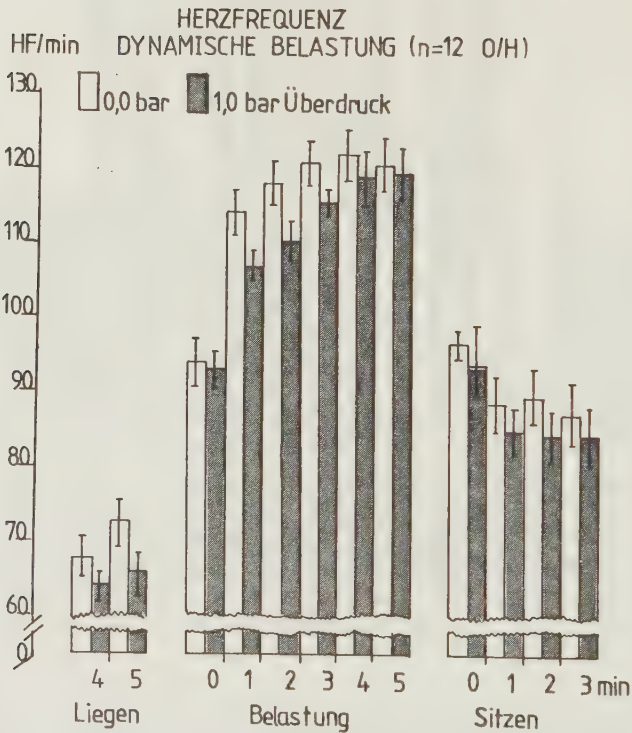


Abb.26: Das Herzfrequenzverhalten während dynamischer Belastung in normaler Atmosphäre und 1,0 bar Überdruck in Abhängigkeit von der Reihenfolge der Versuchsdurchführung: zuerst Kontrollversuch in normaler Atmosphäre, dann Hauptversuch in 1,0 bar Überdruck

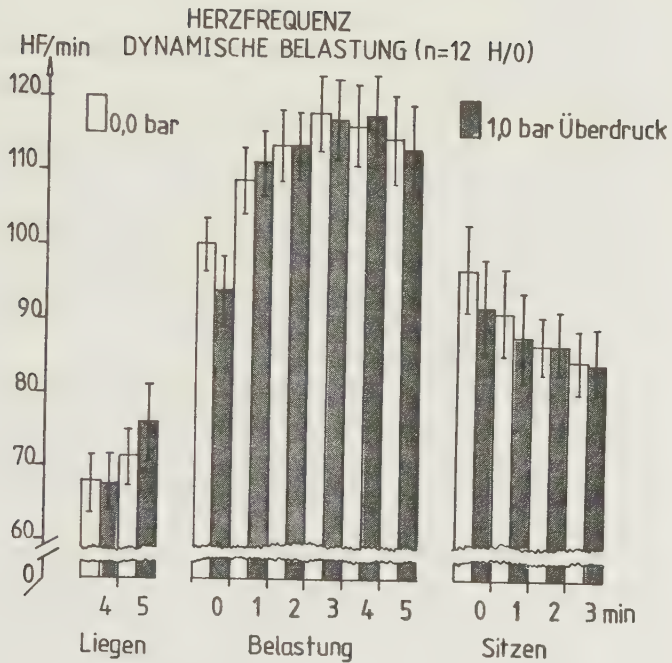


Abb.27: Das Herzfrequenzverhalten während dynamischer Belastung in normaler Atmosphäre und 1,0 bar Überdruck in Abhängigkeit von der Reihenfolge der Versuchsdurchführung. Zuerst Hauptversuch in 1,0 bar Überdruck, dann Kontrollversuch in normaler Atmosphäre.

4. Diskussion

Über den Einfluß von Druckluft auf das Herz-Kreislaufsystem wurde bereits in zahlreichen tierexperimentellen und Studien am Menschen berichtet.

Die Tierversuche führten zum Teil zu widersprüchlichen Ergebnissen, einige Autoren fanden eine Herzfrequenzabnahme, andere wiederum einen Anstieg in Überdruck.

DOUBT und EVANS (13,14) beobachteten an intakten Katzenherzen eine Herzfrequenzabnahme nach Überdruckexposition. In einer weiteren Untersuchung an isolierten Purkinje-Fasern von Kaninchen konnten DOUBT und HOGAN (15) nachweisen, daß die maximale Anstiegsgeschwindigkeit der Aktionspotentiale durch hydrostatische Drucke von 1-150 ATA bei Stimulationsfrequenzen von 1-4 Hz abnahm, ebenfalls das Membranpotential bei 150 ATA in allen Frequenzbereichen.

Auch LUNDGREN und ÖRNHAGEN (47) konnten an Mäusen mit Drücken bis 100 ATA eine signifikante Herzfrequenzabnahme feststellen. Eine Beziehung zwischen der Kompressionsgeschwindigkeit und der Bradykardie fanden sie jedoch nicht.

SHIDA und LIN (61) werteten Elektrokardiogramme von nicht narkotisierten Ratten aus, die verschiedenen Druckbereichen von 1 sowie 3 und 10 ATA ausgesetzt waren. Eine Herzfrequenzabnahme fanden sie jedoch nur bei den Tieren, die gegenüber einer erhöhten Sauerstoffkonzentration exponiert waren. Druckluft allein führte nicht zu Herzfrequenzänderungen.

Im Gegensatz zu diesen Untersuchungen fanden EDWARDS und CATELL (19) eine Erhöhung der Muskelkontraktionen von isolierten Schildkrötenventrikeln in Abhängigkeit vom Überdruck bis 300 ATA.

An isolierten Rattenherzen fanden ALBANO und Mitarbeiter (1) ebenfalls einen Herzfrequenzanstieg mit zunehmenden

dem Druck (bis 150 bar) und Sauerstoffpartialdruck von 170/min (bei 1 bar) auf 320/min (bei 8 bar) bzw. 315/min (bei 150 bar). Nach der Dekompression allerdings fiel die Frequenz nur auf 250 (bei 1 bar) zurück.

Die im Tierexperiment teils extrem hohen Druckbereiche kommen in Versuchen am Menschen verständlicherweise nicht zur Anwendung und lassen somit bereits aus diesem Grund nur bedingt Schlußfolgerungen zu. In der Mehrzahl der Untersuchungen wird eine Herzfrequenzabnahme durch Druckluft beschrieben (9,10,13,16,17,22, 23,29,30,37,50,61,58,61,63,69,70). Nur wenige Autoren fanden keine oder nicht gleichgerichtete Herzfrequenzänderungen (29,41,43). Einige Untersucher stellten auch ein graduelles Verschwinden der zunächst beobachteten Bradykardie bei Probanden fest, die sich über längere Zeit in Überdruck aufhielten (9,50,51,70).

Eine überzeugende Erklärung für diese in der Mehrzahl beschriebene und häufig als "hyperbare Bradykardie" genannte Herzfrequenzabnahme liegt bisher nicht vor. Verschiedene Faktoren wurden als Ursache in Erwägung gezogen, insbesondere der erhöhte Sauerstoffpartialdruck in Überdruck (22,34,39,40,43,52,53,69), Kälte (29,51,53), ein erhöhter Inertgasdruck oder die Druckluft an sich (16,30,37,58,61,63,64,70).

Das Blutdruckverhalten in Druckluft insbesondere unter Ruhebedingungen und während ergometrischer Belastung wurde nur von wenigen Autoren untersucht (16, 43,64). Zum Teil wurden keine Änderungen (16,69), zum Teil eine leichte Erhöhung des systolischen und diastolischen Blutdrucks gefunden (64).

Insgesamt fällt in der einschlägigen Literatur über das Herz-Kreislauf-Verhalten in Druckluft auf, daß die Aussagen häufig auf nur kleinen Kollektiven beruhen.

WHALEN und MITARBEITER (69) beobachteten an 10 Probanden, die reinen Sauerstoff (100%) in normaler Atmosphäre und in 3,04 ATA einatmen mußten, eine geringgradig stärkere Herzfrequenzabnahme in Überdruck und bestätigten damit die Versuche von JACOBS und Mitarbeitern (34) sowie eine frühere Studie von LAMBERTSEN und Mitarbeiter (39), der ebenfalls eine Herzfrequenzabnahme in Überdruck von 3 ATA mit reiner Sauerstoffatmung beschrieben hatte.

LEMAIRE und MURPHY (43) berichteten über einen Versuch mit 8 Tauchern bei einem Druck von 300m Wassertiefe, daß in Abhängigkeit von der Wassertemperatur (2-6°C) die Herzfrequenz abnahm. Sie verwendeten jedoch ein Helium-Sauerstoff-Gemisch. War der Sauerstoffanteil in der Atemluft nicht erhöht, dann konnte keine Herzfrequenzabnahme nachgewiesen werden. Ähnliche Ergebnisse erzielte auch MOORE und Mitarbeiter (52).

Demgegenüber konnten MATSUDA und Mitarbeiter (51) während Sättigungstauchgängen in 7 ATA eine zunächst nach der Kompressionsphase beobachtete Bradykardie nicht weiter verstärken, wenn die Umgebungstemperatur von 28-29°C auf 25-26°C gesenkt wurde. Die Autoren berichteten zudem, daß die Herzfrequenz, die im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Tauchgang 10% tiefer lag, am Ende des 7tägigen Aufenthalts in Überdruck wieder angestiegen war. Als Atemluft diente ein Helium-Sauerstoff-Gemisch.

SALZANO und Mitarbeiter (58) untersuchten nur 3 Probanden in normaler Atmosphäre und in Überdruck von 10,7 und 31,3 bar. Die Probanden wurden am Fahrradergometer mit jeweils 275, 582 und 735 kpm/min belastet. Im Vergleich zur normalen Atmosphäre war in Überdruck die Herzfrequenz niedriger, jedoch fiel bei einem Probanden auf, daß die Belastung mit 582 kpm/min in 10,7 bar Überdruck zu niedrigeren Herzfrequenzwerten führte als in 31,3 bar Überdruck.

In einem Langzeitversuch in einem 17tägigen Tauchgang mit wiederum nur 4 Probanden in Überdruck von 18,6 ATA fanden SMITH und Mitarbeiter (64) eine vorübergehende Bradykardie am 5. und 10. Tag. Eine durchgeführte Senkung der Umgebungstemperatur führte nicht zu einer Herzfrequenzabnahme, so daß die Autoren schlußfolgerten, daß der "Kältestress" nicht die Ursache der hyperbaren Bradykardie sein könne und vermuteten eher eine direkte Abhängigkeit der Herzfrequenzabnahme vom Inertgaspartialdruck. SMITH und HONG (73) berichteten ferner über eine Abhängigkeit der Bradykardie unter Apnoebedingungen durch Druckluft, wobei sie einen Zusammenhang mit der Gasdichte vermuteten.

DRESSENDORFER und Mitarbeiter (16) berichten über ein Teilergebnis einer unter verschiedenen Aspekten durchgeführten Studie mit Überdruck von 18,6 ATA (30,63,64). 5 Probanden mußten sich einer submaximalen und maximalen Belastung in normaler Atmosphäre, in Überdruck mit normaler Luftzusammensetzung und schließlich einem Helium-Sauerstoff-Gemisch unterziehen. Während der submaximalen Belastung in normaler Atmosphäre stieg die Herzfrequenz auf 130/min, in 18,6 ATA Druckluft auf 125/min, und in Überdruck mit dem Helium-Sauerstoff-Gemisch nur auf 120/min. Während diese Unterschiede sich statistisch noch nicht sichern ließen, ergab die maximale Belastung einen signifikanten Unterschied im Herzfrequenzverhalten zwischen den Werten in normaler Atmosphäre und dem Helium-Sauerstoff-Gemisch in Überdruck. Die Reduzierung der Gasdichte und die Elimination des Stickstoffs verursachten keine wesentlichen Herzfrequenzänderungen, so daß die Autoren vermuten, daß die im Überdruck auftretende Bradykardie nicht vom Sauerstoffpartialdruck abhängig ist, sie vermuten eher eine direkte Wirkung des Heliums oder des Überdrucks an sich.

CAMPORESI und Mitarbeiter (9) untersuchten das Herz-

frequenzverhalten von 4 Probanden in Ruhe und während Belastung unter normalen Druckbedingungen und unter Überdruck von 5,48 ATA sowohl in normaler Atemluft als auch in einem Helium-Sauerstoff-Gemisch. Bei 3 Probanden fand sich eine "relative Bradykardie" während der ersten 10 Stunden in 5,48 ATA (mit Helium-Sauerstoff-Gemisch) sowohl in Ruhe als auch während der Belastung, die sich jedoch nur in 2 Fällen "statistisch sichern" ließ. Bei diesen Probanden war die "relative Bradykardie" transitorisch, sie verschwand im Laufe des Expositionsversuches.

WILSON und Mitarbeiter (70) achteten auf EKG-Veränderungen während eines längeren Aufenthaltes in Überdruck mit Stickstoff-Sauerstoff-Gemischen. 10 Marine-Taucher mußten verschiedene Sättigungstauchgänge (1,5 ATA und 8,1 ATA) mit unterschiedlicher Dauer absolvieren. Zu Beginn der Kompressionsphase wurde sogar eine Herzfrequenzzunahme von durchschnittlich 73/min in normaler Atmosphäre auf 91/min beobachtet, während der Isopressionsphase fiel die Herzfrequenz jedoch wieder auf durchschnittlich 58/min ab. Die im weiteren Verlauf des Versuchs getätigten Druckveränderungen führten bei ansteigendem Druck zu einer Herzfrequenzabnahme, bei Minderung des Überdrucks zu einer Herzfrequenzzunahme. Die Dekompression bewirkte einen weiteren Herzfrequenzanstieg, wobei am Ende der Dekompressionsphase sogar deutlich höhere Werte erreicht wurden als vor dem Versuch. Die Autoren vermuten aufgrund ihrer Ergebnisse, daß sowohl die Gasdichte als auch der Überdruck selbst und der Inertgasanteil auf die Schrittmacher-Funktion des Herzens wirken und die Re- und Depolarisation des Herzmuskels beeinflussen.

Die Auswertung der einschlägigen Literatur ergibt zusammenfassend, daß in der Luftfahrt- und Tauchmedizin die Erforschung der Wirkung höherer Drücke bzw. größerer Tauchtiefen auf den Organismus eine dominierende Stellung einnimmt. Relativ wenig Beachtung findet dagegen der Bereich um 1,0 bar Überdruck und darunter, der vielfach im modernen Verkehrstunnel-Bau zur Anwendung kommt. Nach § 10 der derzeit in der Bundesrepublik Deutschland geltenden Druckluftverordnung (vom 4.10.1972) müssen in Druckluft beschäftigte Personen arbeitsmedizinisch untersucht werden, dies gilt auch für nur gelegentliche und kurzfristige Aufenthalte in Druckluft. Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung hat zur Druckluftverordnung die sogenannte "Richtlinie für ärztliche Untersuchungen von Arbeitnehmern, die mit Arbeiten in Druckluft beschäftigt werden" herausgegeben, die im berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 31 ihren Niederschlag findet.

Empfohlen wird hierbei eine ergometrische Belastung von mindestens 5 Minuten 120 Watt oder eine stufenweise Belastung zur Bestimmung der W 150. Diese empfohlene, relativ niedrige Belastung mag damit zusammenhängen, daß bisher in der Literatur nur wenig Studien über die kardiozirkulatorische Beanspruchung durch den Untertagevortrieb in Druckluft vorliegen, die Auskunft über die Herzfrequenz bei bestimmten Tätigkeiten geben. Aufgrund der aus der Literatur bekannten "hyperbaren Bradykardie" wurde nicht mit extremen Herzfrequenzanstiegen gerechnet. Aus einer neueren Untersuchung, die mittels Bandspeichertechnik an 24 in Druckluft beschäftigten Bauarbeitern während der Früh-, Spät- und Nachtschicht durchgeführt wurde (38), konnte nachgewiesen werden, daß bei bestimmten Tätigkeiten, dem Aufstellen der sogenannten "Ringe" bei der Spritzbetonbauweise in Druckluft, in Extremfällen Herzfrequenzwerte von 187/min erreicht wurden. Bei dieser Studie war ferner aufgefallen, daß weder die Kom-

pressions- noch die Dekompressionsphase in allen drei Arbeitsschichten zu gerichteten Herzfrequenzänderungen geführt hatte, die in Beziehung mit dem zu- bzw. abnehmenden Druck hätte gebracht werden können.

Die in der vorgelegten Studie gewählten Versuchsbedingungen, ein standardisiertes Untersuchungsprogramm mit Änderung der Versuchsreihenfolge und Probanden mit und ohne Drucklutterfahrung, ergaben, daß weder während der Ruhephase im Liegen noch während einer orthostatischen und dynamischen Belastung die Herzfrequenzwerte ein anderes Verhalten in 1,0 bar Überdruck zeigten als in normaler Atmosphäre. Die jedoch während der Kompressions- und Dekompressionsphase beobachtete tendenziell stärkere Herzfrequenzabnahme bei Druckluftunerfahrenen, die auch dann auftrat, wenn mit dem Hauptversuch in 1,0 bar Überdruck begonnen wurde, lassen die Ergebnisse anderer Studien durchaus erklären. In diesen waren derartige Einflußgrößen bisher nicht berücksichtigt worden. In einer von HAGEN und SEUSING (23) durchgeführten Untersuchung an 22 herzgesunden Ärzten und Studenten kam es bereits während der Kompressionsphase bei 17 Personen zur Herzfrequenzabnahme bei 1,0 und 1,5 bar Überdruck, die bereits in 0,5 bar Überdruck deutlich in Erscheinung trat. Die erwartete Herzfrequenzzunahme während der Dekompression konnten die Autoren nur bei 13 Probanden nachweisen. Da es sich hierbei um Versuchspersonen ohne größere Drucklutterfahrung gehandelt haben dürfte und der Versuch immer in derselben Reihenfolge durchgeführt worden war, sind aufgrund der jetzigen Erkenntnisse diese Herzfrequenzveränderungen eher mit einer psychischen Beanspruchung zu erklären. In diesem Sinne sind auch die Ergebnisse von FRAGRAEUS (22) zu interpretieren, der ergometrische Belastungen immer erst in normaler Atmosphäre und dann im Überdruck durchgeführt hatte und durch den Vergleich der Belastungsherzfrequenzen als Ergebnis eine Herzfrequenzabnahme beobachten konnte.

Die in der vorliegenden Studie festgestellte tendenzielle Abnahme des systolischen Blutdrucks bestätigt Ergebnisse von WHALEN (69) sowie auch DRESSENDORFER und Mitarbeiter (16), die submaximale und maximale Belastungen durchgeführt hatten. Nur SMITH und Mitarbeiter (64) fanden in Ruhe und während einzelner Messungen einen statistisch signifikant höheren diastolischen Blutdruck im Überdruck.

Die in der jetzigen Studie beobachtete tendenzielle Blutdruckabnahme bzw. zum Teil beobachtete Herzfrequenzzunahme während des standardisierten Versuchsprogramms in Druckluft dürfte am ehesten mit der Temperaturzunahme von durchschnittlich 3°C zusammenhängen. Aus der Literatur ist eine initiale Herzfrequenzzunahme durch Hitzeexposition bekannt (57,62,73,74), die jedoch wegen der hierbei wesentlich höheren Temperaturunterschiede von mehr als 20°C mit den jetzigen Beobachtungen nicht exakt vergleichbar ist.

5. Zusammenfassung

Aufgrund zahlreicher, meist älterer Studien über den Einfluß von Überdruck auf die Herz-Kreislauf-Funktion wird derzeit überwiegend die Meinung vertreten, daß Druckluft die Herzfrequenz senkt. Tierexperimentelle Untersuchungen führten zu teils widersprüchlichen Ergebnissen.

In einem standardisierten Versuchsprogramm mit Ruhephasen im Liegen, einer orthostatischen und dynamischen Belastung sowohl in normaler Atmosphäre als auch in 1,0 bar Überdruck sollte jetzt erneut diese Problematik eingehender untersucht werden. Als Versuchspersonen dienten insgesamt 24 klinisch gesunde Probanden, davon 12 Bauarbeiter einer Druckluft-Baustelle und 12 druckluftunerfahrene Studenten. Um mögliche Einflüsse durch die psychische Beanspruchung (Enge der Druckkammer, Lärm-entwicklung, Temperaturanstieg) erfassen und beurteilen zu können, wurde die Versuchsreihenfolge immer wieder geändert: jeweils die Hälfte der Probanden mit und ohne Drucklutterfahrung mußte mit dem Kontrollversuch in normaler Atmosphäre beginnen, der andere Teil mit dem Hauptversuch in 1,0 bar Überdruck. Zusätzlich erfolgten Temperaturmessungen. Auch wurde die Druckänderungsgeschwindigkeit während der Kompressions- und Dekompressionsphase mit 0,05 bar/min immer konstant gehalten.

Es konnte festgestellt werden:

1. Während Überdruck von 1,0 bar verhält sich die Herzfrequenz sowohl unter Ruhebedingungen als auch ihre Änderung durch eine orthostatische und dynamische Belastung im Gegensatz zu bisherigen Literaturangaben wie in normaler Atmosphäre.
2. Es kommt sowohl während der Druckerhöhung (Kompressionsphase) als auch der Druckerhöhung (Dekompressionsphase) zu einer vorübergehenden, geringgradigen Abnahme der anfangs überhöhten Herzfrequenz. Dies spricht dafür, daß diese nicht durch spezifische Einwirkungen der Druckluft verursacht ist.

3. Probanden ohne Drucklufterfahrung zeigen eine tendenziell stärkere Herzfrequenzabnahme während der Kompressions- und Dekompressionsphase als Bauarbeiter mit Drucklufterfahrung.
4. Wird ein standardisiertes Untersuchungsprogramm durchgeführt, dann beeinflußt die Reihenfolge der Versuchsdurchführung die Ergebnisse. Probanden, die zuerst in normaler Atmosphäre und dann erst in 1,0 bar Überdruck untersucht werden, zeigen die Tendenz einer Herzfrequenzabnahme und erklären somit die Ergebnisse früherer Untersucher.
5. Die während der Kompressionsphase zunehmende Luftverdichtung führt trotz Atemluftspülung zu einer geringgradigen Temperaturzunahme, die eine tendenzielle Herzfrequenzzunahme und Blutdruckabnahme zur Folge hat.

Als Schlußfolgerung ergibt sich hinsichtlich der Eignungsuntersuchung für Arbeiten in Druckluft innerhalb der für den städtischen U-Bahn-Tunnelbau derzeit relevanten Druckbereich: Mit einer konstanten Herzfrequenzsenkung durch Druckluft ist nicht zu rechnen. Da die schwere körperliche Arbeit jedoch bei bestimmten Tätigkeiten zu einer hohen kardiozirkulatorischen Beanspruchung führen kann, wird die Notwendigkeit abgeleitet, zum Schutze der Arbeiter im berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 31 (Arbeiten im Überdruck) eine höhere ergometrische Belastung als bisher mit nur 5 Minuten 120 Watt zu fordern.

Literaturverzeichnis

- (1) Albano, G., Albano, S.B., Palazzoadriano, M., Guagliardo, F., Albano, V.
Comportamento del cuore denervato in iperbaria. II) Rilevi sul cuore isolato di ratto a 150 bar.
Boll.Soc.Ital.Biolog.Sper.48, 1266-1270 (1973)
- (2) Alnor, P.C., Herget, R., Seusing, J.
Drucklufterkrankungen.
Johann Ambrosius Barth, München 1964, S.9
- (3) Angell-James, J.E., Elsner, R., de Burgh Daly, M.
Lung inflation: Effects on heart rate, respiration, and vagal afferent activity in seals.
Am.J.Physiol.240, (Heart Circ.Physiol.9): H190-H198 (1981)
- (4) Bels, U.
Das Verhalten der Pulsfrequenz und der Äther-Decholinzeit im Überdruck.
Forschungsbericht Nr.66-36 der Deutschen Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt, Bad Godesberg 1966.
- (5) Bennett, P.B., Elliot, D.H.
The physiology and medicine of diving and compressed air work.
Bailliere Tindall and Cassel. London 1975
- (6) Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften.
Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen.
Gentner Verlag Stuttgart. 1981, S.31
- (7) de Burgh Daly, M., Elsner, R., Angell-James, J.E.
Cardiorespiratory control by carotid chemoreceptors during experimental dives in the seal.
Am.J.Physiol.232, H508-H516 (1977)

- (8) Bussmann, W.D., Braune, W., Kaltenbach, M.
Vergleich der körperlichen Belastung am Fahrrader-
gometer und an der Kletterstufe.
Dtsch.med.Wschr.104, 248-252 (1979)

- (9) Camporesi, E., Salzano, J., Fortune, J., Saltzmann, H.,
Fagraeus, L., Argeles, H., Hall, F.G.
Cardiorespiratory responses during exercise in a
hyperbaric helium environment.
Fed.Proc.34, 462 (1975)

- (10) Catell, Mck., Edwards, D.J.
The influence of hydrostatic pressure on the contraction
of cardiac muscle in relation to temperature.
Am.J.Physiol.93, 97-104 (1930)

- (11) Craig, Jr.A.B.
Heart rate responses to apneic underwater diving and
to breath holding in man.
J.Appl.Physiol.18, 854-862 (1963)

- (12) Daly, W.J., Bondurant, S.
Effects of oxygen breathing on the heart rate, blood
pressure, and cardiac index of normal men-resting,
with reactive hyperemia, and after atropine.
J.Clin.Invest.41, 126-132 (1962)

- (13) Doubt, T.J., Evans, D.E.
Excitation-contraction coupling in intact cat heart
during hyperbaric helium-O₂ exposures.
Undersea Biomed.Res.8, Abstract 107, S.67 (1981)

- (14) Doubt, T.J., Evans, D.E.
Hyperbaric exposures alter cardiac excitation-con-
traction coupling.
Undersea Biomed.Res.9, 131-145 (1982)

- (15) Doubt, T.J., Hogan, P.M.
Combined effect of beating rate and hydrostatic pressure on excitation in cardiac muscle.
Undersea Biomed.Res.9, 241-253 (1982)
- (16) Dressendorfer, R.H., Hong, S.K., Morlock, J.F., Pegg, J., Respicio, B., Smith, R.M., Yelverton, C.
Hana Kay II: a 17-day dry saturation dive at 18.6 ATA. V.Maximal oxygen uptake.
Undersea Biomed.Res.4, 283-296 (1977)
- (17) Eagan, C.J., Plese, E.R.
Cardiorespiratory and metabolic effects of work during hypo- and hyperbaria.
Fed.Proc.28, Abstract 1860, S.593 (1969)
- (18) Ebbecke, U.
Über die Wirkung hoher Drücke auf Herzschlag und EKG.
Pflügers Arch.236, 416-426 (1935)
- (19) Edwards, D.J., Cattell, Mck.
The action of compression on the contraction of heart muscle.
Am.J.Physiol.93, 90-96 (1930)
- (20) Elsner, R., Angell-James, J.E., de Burgh Daly, M.
Carotid body chemoreceptor reflexes and their interactions in the seal.
Am.J.Physiol.232, H517-H525 (1977)
- (21) Egawa, N.
Cardiac function studies in He-O₂ during compression to 400-800-1200-1600 FSW and at 1200 FSW in Predictive Studies IV.
Undersea Biomed.Res.3, A10 (1976)

- (22) Fagraeus, L.,
Cardiorespiratory and metabolic functions during
exercise in the hyperbaric environment.
Acta physiol.scand.Supplement 414, 1-40 (1974)

- (23) Hagen, H., Seusing, J.
EKG bei Gesunden unter Druckluft.
Z.Kreislauf.41, 658-664 (1952)

- (24) Hamilton, R.W., Langley, T.D., Dorr, V.A.
Safe instrumentation for physiological research
in the hyperbaric environment.
Trans.N.Y.Acad.Sci.32, 458-470 (1970)

- (25) Harding, P.E., Roman, D., Whelan, R.F.
Diving bradycardia in man.
J.Physiol.181, 401-409 (1965)

- (26) Haxton, A.F., Whyte, H.E.
The compressed air environment, in: Bennett, P.B.,
Elliot, D.H. (Ed.): The physiology and medicine
of diving and compressed air work.
Bailliere Tindall and Cassel. London 1975, S.11-19

- (27) Held, K.
Untersuchungen über das Verhalten der menschlichen
Hautdruckblutungsgröße bei Über-und Unterdruckex-
position.
Forschungsbericht Nr.68-56 der Deutschen Versuchs-
anstalt für Luft-und Raumfahrt e.V., Bad Godesberg 1968

- (28) Hochachka, P.W.
Brain, lung, and heart functions during diving
and recovery.
Science, 212, 509-514 (1981)

- (29) Hong, S.K., Moore, T.O., Lally, D.A., Morlock, J.F.
Heart rate response to apneic face immersion in
hyperbaric heliox environment.
J.Appl.Physiol.34, 770-774 (1973)

- (30) Hong, S.K., Smith, R.M., Webb, P. , Matsuda, M.
Hana Kay II: a 17-day dry saturation dive at 18.6 ATA
I.Objectives, design, and scope.
Undersea Biomed.Res.4, 211-220 (1977)

- (31) Hong, S.K., Song, S.H., Kim, P.K., Suh, C.S.
Seasonal observations on the cardiac rhythm during
diving in the Korean ama.
J.Appl.Physiol.23, 18-22 (1967)

- (32) Hughes, R.L., Clode, M., Edwards, R.H.I., Goodwin, T.J.,
Jones, N.L.
Effect of inspired O₂ on cardiopulmonary and meta-
bolic responses to exercise in man.
J.Appl.Physiol.24, 336-347 (1968)

- (33) Irving, L.
Bradycardia in human divers.
J.Appl.Physiol.18, 489-491 (1963)

- (34) Jacobs, R.R., Williams, B.T., Schenk, W.G.
Cardiac and systemic toxicity of hyperbaric oxygen.
J.Thoracic Cardiovasc.Surg.59, 555-567 (1970)

- (35) Jung, K., Stolle, W.
Behaviour of heart rate and incidence of arrhythmia
in swimming and diving.
Biotelemetry Patient Monitg.8, 228-239 (1981)

- (36) Kaltenbach, M., Klepzig, H., Tschirdewahn, B.
Die Kletterstufe, eine einfache Vorrichtung für
exakt meßbare und reproduzierbare Belastungsunter-
suchungen.
Med.Klin.59, 243-254 (1964)

- (37) Kerem, D., Salzano, J.
Effect of high ambient pressure on human apneic
bradycardia.
J.Appl.Physiol.37, 108-111 (1974)
- (38) Kessel, R., Praml, G., Schäfers, M.
Die kardiozirkulatorische Beanspruchung durch
den Untertagevortrieb in Druckluft.
Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Präventivmedizin
17, 282-285 (1982)
- (39) Lambertsen, C.J., Kough, R.H., Cooper, D.Y.,
Emmel, G.L., Loeschcke, H.H., Schmidt, C.F.
Comparison of relationship of respiratory minute
volume to $p\text{CO}_2$ and pH of arterial and internal
jugular blood in normal man during hyperventi-
lation produced by low concentrations of CO_2
at 1 atmosphere and by O_2 at 3.0 atmospheres.
J.Appl.Physiol.5, 803-813 (1953)
- (40) Lambertsen, C.J., Stroud, M.W., Gould, R.A.,
Kough, R.H., Ewing, J.E., Schmidt, C.F.
Oxygen toxicity. Effects in man of oxygen inhalation
at 1 and 3.5 atmospheres upon blood gas transport,
cerebral circulation, and metabolism.
J.Appl.Physiol.5, 471-476 (1953)
- (41) Lange, J.
Über die komprimierte Luft, ihre physiologische
Wirkung und ihre therapeutische Bedeutung.
Göttingen 1864
- (42) Ledingham, I.McA., Marshall, R.J., Parrat, J.R.
The effects of hyperbaric oxygen (2 ATA) on the
haemodynamic, metabolic and electrocardiographic

consequences of acute myocardial ischaemia
in anaesthetized greyhounds.
J.Physiol.268, 16p-17p (1977)

- (43) Lemaire, C., Murphy, E.L.
Heart rate and core temperature as indicators
of heat stress during deep underwater activity.
Aviat.Space Environ.Med.48 146-148 (1977)
- (44) v.Liebig, G.
Über die Blutzirkulation in den Lungen und ihre
Beziehungen zum Luftdruck.
Dtsch.Arch.klin.Med.10, 234-254 (1872)
- (45) Lin, Y.C., Shida, K.K., Hong, S.K.
Effects of hypercapnia, hypoxia, and rebreathing
on heart rate response during apnea.
J.Appl.Physiol.Respirat.: Environ.Exercise Physiol.54
166-171 (1983)
- (46) Loewy, A.
Untersuchungen über die Respiration und Zirkula-
tion bei Änderungen des Druckes und Sauerstoffge-
halts der Luft.
Berlin 1895
- (47) Lundgren, C.E.G., Örnhammar, H.Ch.
Heart rate and respiratory frequency in hydro-
statically compressed, liquid-breathing mice.
Undersea Biomed.Res.3, 303-320 (1976)
- (48) Magel, J.R., McArdle, W.D., Weiss, N.L., Stone, S.,
Newman, A.
Heart rate response to apnea and face immersion
J.Sports.Med.22, 135-146 (1982)

- (49) Marquort, W., Rieth, J.
Physiologische Untersuchungen und Beobachtungen
an Druckluftarbeitern.
Z.exp.Med.106, 684-703 (1939)
- (50) Matsuda, M., Nakayama, H., Arita, H., Morlock, J.F.,
Claybaugh, J., Smith, R.M., Hong, S.K.
Physiological responses to head-out immersion in
water at 11 ATA.
Undersea Biomed.Res.5, 37-52 (1978)
- (51) Matsuda, M., Nakayama, H., Itoh, A., Kirigaya, N.,
Kurata, F.K., Strauss, R.H., Hong, S.K.
Physiology of man during a 10-day dry heliox saturation
dive (SEATOPIA) to 7 ATA.I.Cardiovascular and thermore-
gulatory functions.
Undersea Biomed.Res.2, 101-118 (1975)
- (52) Moore, T.O., Morlock, J.F., Lally, D.A., Hong, S.K.
Thermal cost of saturation diving: respiratory and
whole body heat loss, in:
5th Symposium of Underwater Physiology, Lambertsen,
C.J. (Ed.)
Acad.Press.New York-London, 741-754 (1976)
- (53) Moore, T.O., Lin, Y.C., Lally, D.A., Hong, S.K.
Effects of temperature, immersion, and ambient
pressure on human apneic bradycardia.
J.Appl.Physiol.33, 36-41 (1972)
- (54) Örnhausen, H., Hogan, P.
Effects of high ambient pressure on the spontaneous
frequency of the mammalian sinus node.
Fed.Proc.35, Abstract 171, S.237 (1976)

- (55) Panum, P.L.
Untersuchungen über die physiologischen Wirkungen
der comprimierten Luft.
Pflüg.Arch.ges.Physiol.1, 125-165 (1868)
- (56) Raper, A.J., Richardson, D.W., Kontos, H.A.,
Patterson, Jr., J.L.
Circulatory responses to breath holding in man.
J.Appl.Physiol.22, 201-206 (1967)
- (57) Rowell, L.B., Kraning II, K.K., Kennedy, J.W.,
Evans, T.O.
Central circulatory responses to work in dry heat
before and after acclimatization.
J.Appl.Physiol.22, 509-518 (1967)
- (58) Salzano, J., Rausch, D.C., Saltzman, H.A.
Cardiorespiratory responses to exercise at a
simulated seawater depth of 1,000 feet.
J.Appl.Physiol.28, 34-41 (1970)
- (59) Schäcke, G., Essing, H.-G., Nemitz, B., Zorn, R.
Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen bei
Tauchern.
Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Präventivmedizin,14,
229-232 (1979)
- (60) Seusing, J.
Die Ursache der Pulsfrequenzsenkung unter Druckluft.
Z.Kreislauff.42, 186-192 (1953)
- (61) Shida, K.K., Lin, Y.C.
Contribution of environmental factors in development
of hyperbaric bradycardia.
J.Appl.Physiol.:Respirat.Environ.Exercise Physiol.50,
731-735 (1981)

- (62) Shvartz, El., Shapiro, Y., Magazanik, A., Meroz, A., Birnfeld, H., Mechtlinger, A., Shibolet, S.
Heat acclimation, physical fitness, and responses to exercise in temperate and hot environments.
J.Appl.Physiol.: Respirat.Environ.Exercise Physiol.43 678-683 (1977)
- (63) Smith, R.M., Hong, S.K.
Heart rate response to breath holding at 18.6 ATA.
Respiration Physiology, 30, 69-79 (1977)
- (64) Smith, R.M., Hong, S.K., Dressendorfer, R.H., Dwyer, H.J., Hayashi, E., Yelverton, C.
Hana Kai II: a 17-day dry saturation dive at 18.6 ATA.
IV.Cardiopulmonary functions.
Undersea Biomed.Res.4, 267-281 (1977)
- (65) Song, S.H., Lee, W.K., Chung, Y.A., Hong, S.K.
Mechanism of apneic bradycardia in man.
J.Appl.Physiol.27, 323-327 (1969)
- (66) Strømme, S.B., Kerem, D., Elsner, R.
Diving bradycardia during rest and exercise and its relation to physical fitness.
J.Appl.Physiol.28, 614-621 (1970)
- (67) v.Vivenot jun.R.(Ritter von)
Zur Kenntnis der physiologischen Wirkungen und der therapeutischen Anwendung der verdichteten Luft
(Eine physiologisch therapeutische Untersuchung).
Verlag v.Ferdinand Enke, Erlangen 1868
- (68) Weinman, K.P., Slabochova, Z., Bernauer, E.M., Morimoto, T., Sargent II, F.
Reactions of men and women to repeated exposure to humid heat.
J.Appl.Physiol.22, 533-538 (1967)

- (69) Whalen, R.E., Saltzman, H.A., Holloway, Jr., D.H., McIntosh, H.D., Sieker, H.O., Brown, Jr., I.W.
Cardiovascular and blood gas responses to hyperbaric oxygenation.
Am.J.Cardiol.15, 638-646 (1965)
- (70) Wilson, J.M., Kligfield, P.D., Adams, G.M., Harvey, C., Schaefer, K.E.
Human ECG changes during prolonged hyperbaric exposures breathing N₂-O₂ mixtures.
J.Appl.Physiol.: Respirat.Environ.Exercise Physiol.42, 614-623 (1977)
- (71) Wünsche, O., Laurenz, F.
Tierexperimentelle Untersuchungen im Überdruck.
Luftfahrtmedizin 5, 225-233 (1941)
- (72) Wünsche, O.
Die Wirkung der Arbeiten unter erhöhtem Luftdruck auf den Menschen.
Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr.1773.
Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen 1966
- (73) Wyndham, C.H., Rogers, G.G., Senay, L.C., Mitchell, D.
Acclimatization in a hot, humid environment: cardiovascular adjustments.
J.Appl.Physiol.40 779-785 (1976)
- (74) Wyndham, C.H., Strydom, N.B., van Rensburg, A.J., Rogers, G.G.
Effects on maximal oxygen intake of acute changes in altitude in a deep mine.
J.Appl.Physiol.29 ,552-555 (1970)
- (75) Yonce, L.R., Folkow, B.
The integration of the cardiovascular response to diving.
Am.Heart J.79, 1-4 (1970)

Lebenslauf

Juan Miguel Reyes-Amézcua, geboren am 30.11.55 in Morelia, Mexiko, als Sohn von Lic. Carlos Reyes G. und Sra. Bertha Amézcua de Reyes.

1963 bis 1969 Instituto Colon, Guadalajara, Mexiko;

1969 bis 1971 Escuela Secundaria "Prof. M. Saenz" in Monterrey;

1971 bis 1973 Preparatoria 2 "Obispado" der Autonomen Universität von Nuevo Leon in Monterrey, Mexiko.

1973 bis 1979 Studium an der Medizinischen Fakultät der Autonomen Universität von Nuevo Leon in Monterrey, Mexiko.

20.3.1980 Staatsexamen in Monterrey, Mexiko, als praktischer Arzt und Geburtshelfer.

1979 bis 1980 Tätigkeit an der Neurologischen Abteilung des Universitätskrankenhauses der Autonomen Universität von Nuevo Leon in Monterrey, Mexiko.

1.2.80 bis 1.3.81 Industrieberater in toxikologischen Fragen in einer Privatpraxis in Monterrey, Mexiko

Seit 15.11.1981 Gaststipendiat am Institut und der Poliklinik für Arbeitsmedizin der Universität München

Herrn Prof.Fruhmann danke ich für die Überlassung des Themas,
den Herren Dr.Dr.Kessel und Dipl.-Ing.Praml für die Unter-
stützung zur Durchführung dieser Arbeit.

